

مقایسه میزان ترسیب کربن خاک بین سه رویشگاه با غالبیت *Astragalus gossypinus*، *Festuca ovina* و *Dactylis glomerata* در مراتع پشتکوه ساری، استان مازندران، شمال ایران

فریبرز فرهادپور^{۱*}، قاسمعلی دیان‌تی تیلکی^۲، مهدی عابدی^۳

چکیده

ترسیب کربن خاک یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سلامت اکوسیستم‌های مرتعی است و نقش مهمی در کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر دارد. این پژوهش با هدف مقایسه میزان ترسیب کربن خاک در سه رویشگاه مرتعی شامل دو علفزار با گونه‌های غالب *Dactylis glomerata* و *Festuca ovina* و یک بوته‌زار با گونه غالب *Astragalus gossypinus* در مراتع پشتکوه چهاردانگه استان مازندران و بررسی همبستگی آن با درصد تاج‌پوشش کل و کربن آلی خاک انجام شد. نمونه‌برداری به روش سیستماتیک- تصادفی و با برداشت ۲۷ نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری (۹ نمونه در هر رویشگاه) انجام و داده‌ها با تحلیل واریانس یک‌طرفه، آزمون توکی و ضریب همبستگی پیرسون تجزیه و تحلیل شدند. میزان ترسیب کربن در رویشگاه‌های *F. ovina* و *D. glomerata* به ترتیب ۹۴۷۷۴۸ و ۸۵۶۱۰۸ کیلوگرم در هکتار بود که به طور معنی‌داری از رویشگاه *A. gossypinus* (۳۰۹۸۵۶ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود ($P < 0.05$). همچنین درصد کربن آلی خاک در دو علفزار (۲ و ۲/۰۱ درصد) به طور معنی‌داری بیشتر از بوته‌زار (۰/۶۴ درصد) بود. درصد تاج‌پوشش کل در رویشگاه‌های *F. ovina*، *D. glomerata* و *A. gossypinus* به ترتیب ۸۷/۸۹، ۶۸/۳۳ و ۴۵/۱۱ درصد و درصد لاشبرگ به ترتیب ۲/۳۳، ۰/۵۶ و ۲/۶۷ درصد به دست آمد. همبستگی مثبت و قوی بین ترسیب کربن و کربن آلی خاک ($r^2 = 0.941$) و نیز بین کربن آلی خاک و تاج‌پوشش کل ($r^2 = 0.714$) مشاهده شد. با وجود بیشتر بودن درصد لاشبرگ سطحی در بوته‌زار، این رویشگاه کمترین میزان ترسیب کربن و درصد کربن آلی خاک را داشت که نشان می‌دهد ترسیب کربن در خاک رویشگاه‌ها تنها به مقدار لاشبرگ وابسته نیست و کیفیت لاشبرگ، ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای گونه‌های غالب و شرایط فیزیکی و زیستی خاک نیز در آن نقش دارند. در مجموع، در منطقه مورد مطالعه، رویشگاه‌های علفزار با غالبیت *D. glomerata* و *F. ovina* به علت برخورداری از درصد تاج‌پوشش کل بیشتر، ورودی بالاتر مواد آلی و کربن از اندام‌های هوایی و زیرزمینی، چرخه فعال ریشه و احتمالاً تفاوت در کیفیت و سرعت تجزیه لاشبرگ و حفاظت بهتر بخشی از کربن در ساختار خاک، ظرفیت بیشتری برای ذخیره و ترسیب کربن خاک نسبت به بوته‌زار *A. gossypinus* داشتند و می‌توانند نقش مؤثرتری در بهبود کیفیت خاک و پایداری اکوسیستم‌های مرتعی ایفا کنند.

واژگان کلیدی:

بوته‌زار، تاج‌پوشش کل، علفزار، کربن آلی خاک، لاشبرگ، مرتع.



مقاله پژوهشی

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مدیریت مرتع، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
f.farhadpour@modares.ac.ir
* نویسنده مسئول

۲. دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
dianatig@modares.ac.ir

۳. دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
mehdi.abedi@modares.ac.ir

شناسه مقاله: ۲۶۰۷-۱۱۸۵
شماره صفحه پایایی: ۱۳۶۳-۱۳۷۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۱
انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۵/۲۳
زمان پذیرش: ۲۶ روز

استناددهی:

فرهادپور، ف، دیان‌تی تیلکی، ق، و عابدی، م. (۱۴۰۵). مقایسه میزان ترسیب کربن خاک بین سه رویشگاه با غالبیت *Astragalus gossypinus*، *Festuca ovina* و *Dactylis glomerata* در مراتع پشتکوه ساری، استان مازندران، شمال ایران. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۲) ۶، ۳۷-۴۸.

۱- مقدمه

ترسیب کربن^۱ به فرآیند جذب و ذخیره دی اکسید کربن (CO₂) جوی در مخازن کربن^۲ مانند خاک و پوشش گیاهی اشاره دارد. مراتع نقش مهمی در ترسیب کربن دارند، به طوریکه این اکوسیستم‌ها حدود ۳۰ درصد از کربن آلی خاک جهانی و بیش از ۱۰ درصد از کربن زیست‌توده زمینی را در خود ذخیره می‌کنند. خاک مراتع بزرگ‌ترین مخزن کربن است و بیش از ۹۰ درصد از کل کربن ذخیره‌شده در این اکوسیستم‌ها را شامل می‌شود (Derner, 2007; Denboba, 2022). که باروری خاک را افزایش داده و با کاهش سطح دی اکسید کربن جوی، به کاهش تغییرات اقلیمی کمک می‌کند (Chen et al., 2018; Ward et al., 2016). پژوهش‌های جدید نیز اهمیت علفزارها را در چرخه جهانی کربن تأیید کرده‌اند؛ به طوری که برآوردهای جدید نشان می‌دهند علفزارها حدود ۲۲/۸ درصد از سطح خشکی‌های جهان را پوشش داده و ذخیره کربن خاک آن‌ها در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر حدود ۱۵۵/۰۲ پتاکرم برآورد شده است (MacDougall et al., 2026). یک مرور منابع در مورد تحقیقات انجام شده روی توان ترسیب کربن زیستگاه‌ها با فرم‌های مختلف رویشی نشان داد که مخازن کربن در اکوسیستم‌های چین شامل حدود ۳۰/۸۳ پتاکرم کربن (Pg C) در جنگل‌ها، Pg C ۶/۶۹ در بوته‌زارها و Pg C ۲۵/۴۰ در علفزارها است (پتا معادل ۱۰^{۱۵} می‌باشد). این نتایج نشان می‌دهد که جنگل‌ها پتانسیل بالاتری برای ترسیب کربن نسبت به علفزارها و بوته‌زارها دارند (Tang et al., 2018). تحقیق در بیابان شمالی چیاو‌آ‌شان داد که بوته‌زارهای مستقر ۴۹ گرم کربن در متر مربع در سال ترسیب می‌کنند، در حالی که علفزارهای بومی نزدیک، یک منبع خالص با ۳۱ گرم کربن در متر مربع در سال هستند. این نشان می‌دهد که انتقال از علفزارها به بوته‌زارها می‌تواند ترسیب کربن را افزایش دهد و بوته‌زارها به‌ویژه در مناطق خشک به‌عنوان مخازن کربن پایدار عمل می‌کنند (Petrie et al., 2015). درصد کربن آلی خاک (SOC) در ۲۰ سانتی‌متری بالای خاک در جنگل‌ها ۵۰ درصد، در بوته‌زارها ۴۲ درصد و در علفزارها ۳۳ درصد است. این موضوع نشان دهنده تفاوت انواع اکوسیستم‌ها در توزیع عمودی ترسیب کربن خاک است (Jobbágy and Jackson, 2000).

با این حال، شواهد جدید نشان می‌دهد که برتری جنگل‌ها در ذخیره کربن خاک یک قاعده عمومی و همیشگی نیست و ویژگی‌های خاک، شرایط محیطی و فرآیندهای زیستی می‌توانند موجب تفاوت قابل توجه در ذخیره کربن بین اکوسیستم‌های جنگلی و علفزاری شوند. برای مثال، Zavarzina et al. (۲۰۲۶) در مقایسه ذخیره کربن خاک در اکوسیستم‌های جنگلی و علفزاری در امتداد یک گرادیان خاکی-جغرافیایی، از جنوب تایگا تا اکوسیستم‌های استپی روسیه اروپایی در برخی خاک‌ها ذخیره کربن آلی بیشتری را در علفزارها نسبت به جنگل‌ها گزارش کردند و نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک را در این تفاوت برجسته دانستند، هیچ اجماع نظر قطعی در مورد مقایسه توان ترسیب کربن بین جنگل‌ها (Forests)، درختچه‌زارها (Scrubland)، بوته‌زارها (Shrubland)، و علفزارها (Grassland) وجود ندارد، به طور کلی، در حالی که جنگل‌ها معمولاً پتانسیل بالاتری برای ذخیره کربن نشان می‌دهند، با این وجود، علفزارها و بوته‌زارها نیز می‌توانند نقش‌های مهمی در ترسیب کربن ایفا کنند که تحت تأثیر روش‌های مدیریتی و شرایط اکولوژیکی و اقلیمی قرار دارد، برای نمونه مدیریت مراتع، مانند حذف چرای بیش از حد، قرق و احیای زمین‌های تخریب‌شده، می‌تواند ترسیب کربن را تا ۲۶ درصد افزایش دهد (Denboba, 2022; Conant et al., 2001). تا جایی که بهبود روش‌های مدیریت در علفزارها می‌تواند باعث افزایش ماده آلی و ترسیب کربن خاک شده و در برخی شرایط، نرخ‌های بالاتری نسبت به جنگل‌ها نشان دهد که تحقیقات انجام شده روی تأثیر این گونه اقدامات مدیریتی و اصلاحی بر بهبود ترسیب کربن خاک در مغولستان داخلی (He et al., 2012)، کشورهای شرق آفریقا (Tessema et al., 2020)، منطقه آپالاشای جنوبی ایالات متحده (Fox et al., 2020) مراتع گومیشان استان گلستان (Niknahad Gharmakher et al., 2015)، مراتع استپی ساوه (Mahdavi et al., 2011) نیز موید این مطلب است. تجمع و تجزیه بقایای گیاهی از جمله لاشبرگ مهم‌ترین منبع ماده آلی ورودی به خاک و یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تعیین کننده میزان ترسیب و ذخیره کربن آلی در خاک رویشگاه‌ها محسوب می‌گردد (رمضانی و قاسمی آقباش، ۱۴۰۳). مطالعات جدید نیز نشان داده‌اند که تجزیه لاشبرگ نقش مهمی در تشکیل و گردش کربن آلی خاک^۴ و تغییر در بخش‌های مختلف آن، از جمله کربن آلی ذره‌ای^۵ و کربن آلی پیوسته با مواد معدنی^۶ دارد و اثر این فرآیند می‌تواند تحت تأثیر وضعیت اکوسیستم و شرایط تخریب علفزار قرار گیرد (Wei et al., 2026). عوامل موثر بر تخمیر و تجزیه افق لاشبرگی در سطح خاک را می‌توان به دو گروه عوامل عمل کننده شامل جامعه میکروبی خاک، شاخص‌های اقلیمی دما و رطوبت و زمان و عوامل کنترل کننده یعنی کمیت لاشبرگ و کیفیت لاشبرگ (میزان نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن و ترکیبات لیگنین، سلولز، همی سلولوز، تانن و ...)، توپوگرافی، محتوای رس، pH طبقه‌بندی نمود (زاهدی امیری و ضرغام، ۱۳۹۳). به‌عنوان بخشی از مرور منابع تحقیقات انجام شده روی تأثیر این گونه عوامل بر میزان تجزیه و ترسیب کربن بقایای گیاهی می‌توان به مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور مقایسه سرعت تجزیه‌پذیری برگ و ساقه گونه مرتعی جاشیر (*Prangos ferulacea*) در حسین‌آباد فارس اشاره کرد که دریافتند به‌طور کلی سرعت تجزیه گیاهان به نسبت کربن به نیتروژن بستگی دارد. هرچه این نسبت کمتر باشد، مقاومت پسماندهای گیاهی در برابر عوامل تجزیه کننده کمتر خواهد بود. همچنین قاسمی آقباش و بیرانوند (۱۴۰۰) دریافتند تجزیه لاشبرگ های عرعر با

1. Carbon sequestration
2. Carbon sinks
3. Chihuahuan

4. Soil Organic Carbon (SOC)
5. Particulate Organic Carbon (POC)
6. Mineral-Associated Organic Carbon (MAOC)

مقادیر زیاد نیتروژن و کلسیم و نسبت کم C/N بیشتر از لاشبرگ های سوزنی کاج سیاه بود. نتیجه مطالعات Kooch and Noghre (۲۰۲۰) نیز با مقایسه شاخص‌های عملکردی خاک گونه‌های درختچه‌ای مانند *Crataegus melanocarpa* و *Berberis integerrima* در مراتع شمال کشور به این نتیجه رسیدند توده‌های خالص یا آمیخته این دو گونه با ایجاد میکرو کلیمای متفاوت از نظر ساختار جامعه میکروبی خاک، محتوی رس و pH اختلاف معناداری از نظر میزان ترسیب کربن خاک نشان می‌دهند. عرفانزاده و معتمدی (۱۳۹۲) با مقایسه میزان ترسیب کربن خاک بین سه تیپ در مراتع خانقاه سرخ ارومیه به تاثیر معنادار نوع پوشش گیاهی و طبقه شیب روی میزان ترسیب پی بردند. حسن‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی مشابه با پژوهش نگارندگان این مقاله، با هدف مقایسه میزان ترسیب کربن دو گونه *Astragalus gossypinus* و *Dactylis glomerata* در مراتع کوهستانی هزار جریب بهشهر بیشترین سهم ترسیب کربن اندام‌ها را در گونه گون پنبه‌ای در برگ‌ها به علت تاثیر گستردگی سطوح برگ در میزان جذب کربن و در گونه علف باغ در ساقه‌ها به علت بیوماس بالای ساقه نسبت به اندام‌های دیگر در گرامینه‌ها و بیشتر بودن ترسیب کربن خاک گون پنبه‌ای نسبت به علف باغ را هم میزان بالاتر کربن در لاشبرگ این گونه به همان علت سطح جذب بالای برگ‌ها گزارش کرده‌اند. در مقایسه توان ترسیب کربن دو گونه از جنس گون *A. gossypinus* (گون سفید) و *Astragalus parrowianus* (گون زرد) در مراتع کوهستانی کرمانشاه، توان ترسیب بیشتر گون زرد به علت بیشتر بودن میزان پوشش و بیوماس هوایی و ریشه‌ای و در نتیجه تله‌اندازی کربن بیشتر نسبت به گون سفید و افزایش معنی‌دار ترسیب کربن هر دو تیپ در جهت جغرافیایی شمالی به علت کمتر بودن تبخیر و تعرق و حفظ رطوبت و رویش بیشتر پوشش گیاهی گزارش شده است (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس تحقیقات قربانی و همکاران (۱۴۰۳) در مقایسه ترسیب کربن بین سه رویشگاه علفزار و سه رویشگاه علفزار-بوته‌زار در سه طبقه ارتفاعی مراتع سبلان، در هر طبقه، سایت علفزار نسبت به علفزار-بوته‌زار از بیشترین میزان ترسیب کربن برخوردار بوده و میزان ترسیب با افزایش ارتفاع نیز افزایش معنی‌داری نشان داد که علت آن را افزایش ورودی ماده آلی به خاک به دلیل بیش‌تر بودن درصد پوشش کل و تراکم و همچنین کمتر بودن درصد سنگ و سنگریزه و خاک لخت با تاثیر روی وزن مخصوص ظاهری و کاهش فرسایش و رواناب و در نتیجه کاهش هدر رفت کربن بیان کردند. مرادزاده و همکاران (۱۴۰۴) با مقایسه دو نوع رویشگاه علفزار و بوته‌زار در مراتع شمال سبلان نشان دادند که میزان کربن آلی، کربن آلی ذره‌ای، نیتروژن کل و ترسیب کربن خاک در رویشگاه علفزار به‌طور معنی‌داری بیشتر از رویشگاه بوته‌زار بود. همچنین، ترسیب کربن خاک در دامنه شمالی بیشتر از دامنه جنوبی گزارش شد و با افزایش عمق خاک کاهش یافت. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز نشان داد که ویژگی‌های مختلف خاک، اقلیم و پستی‌وبلندی، از جمله درصد شن، بارش، کربن آلی، درصد شیب و لاشبرگ، با الگوی تغییرات ویژگی‌های اکوسیستم و ترسیب کربن ارتباط دارند. این یافته‌ها بر اهمیت تفاوت نوع رویشگاه و شرایط محیطی در تغییرپذیری ترسیب کربن خاک در اکوسیستم‌های مرتعی تأکید می‌کنند.

صادقی و همکاران (۱۴۰۴) با بررسی توزیع عناصر غذایی، کربن و لیگنین در اندام‌های هوایی، لاشبرگ و ریشه پنج گونه گرامینه شامل *Phalaris minor*، *Bromus scoparius*، *Puccinellia distans* و *Aeluropus lagopoides* و *Lolium perenne* نشان دادند که ویژگی‌های شیمیایی اندام‌های گیاهی در میان گونه‌ها تفاوت‌های آشکاری دارد. در این مطالعه، بیشترین مقدار کربن آلی در اندام هوایی *P. distans*، لاشبرگ *A. lagopoides* و ریشه *L. perenne* مشاهده شد؛ درحالی‌که بیشترین مقدار لیگنین در اندام هوایی و لاشبرگ *L. perenne* ثبت گردید. نویسندگان بیان کردند که تفاوت در راهبردهای گونه‌های گیاهی برای جذب، ذخیره و بازتخصیص عناصر می‌تواند بر سرعت تجزیه لاشبرگ، حاصلخیزی خاک و ترسیب کربن تأثیر بگذارد.

صابری و همکاران (۱۴۰۵) با بررسی توان ذخیره‌سازی کربن گونه‌های غالب در مراتع سرسارو نشان دادند که گونه‌های گیاهی مختلف از ظرفیت یکسانی برای تثبیت و ذخیره کربن برخوردار نیستند. در این مطالعه، گونه *Zygophyllum eurypterum* بیشترین زی‌توده زمینی و ذخیره کل کربن را داشت، در حالی که *Hammada salicornica* بیشترین زی‌توده هوایی و *Artemisia santolina* کمترین زی‌توده زمینی را نشان دادند. همچنین، وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی و ذخیره کربن خاک در زیر گونه‌های *H. salicornica*، *Z. eurypterum* و *A. santolina* تفاوت معنی‌داری داشت. این نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های گیاهی مختلف، به دلیل تفاوت در ویژگی‌های اکولوژیکی و تولید زی‌توده، می‌توانند ظرفیت‌های متفاوتی برای ذخیره کربن داشته باشند.

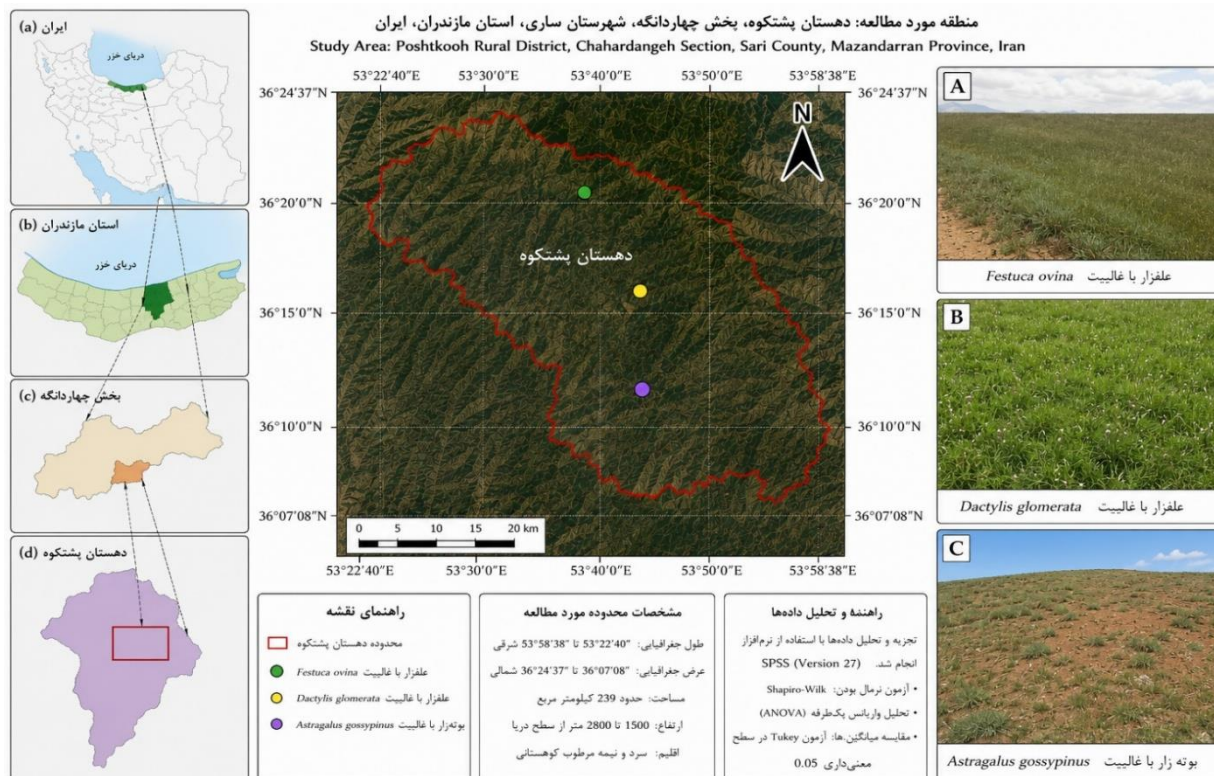
در راستای اهمیت آگاهی از میزان ترسیب کربن خاک در مراتع به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی وضعیت و سلامت خاک اکوسیستم‌ها در جهت برنامه‌ریزی و اقدامات مدیریتی و اصلاح و احیاء، در این پژوهش میزان کربن ترسیب شده در خاک، بین دو علفزار، یکی با غالبیت گونه گیاهی *D. glomerata* و دیگری با غالبیت *F. ovina* و یک بوته‌زار با غالبیت *A. gossypinus* در بخشی از مراتع پشتکوه چهاردانگه ساری مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

پس از بازدید صحرایی در مراتع دهستان پشتکوه واقع در بخش چهاردانگه شهرستان ساری استان مازندران (شکل ۱)، سه رویشگاه مرتعی شامل علفزار با غالبیت *F. ovina*، علفزار با غالبیت *D. glomerata* و بوته‌زار با غالبیت *A. gossypinus* در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۷ دقیقه و ۸

ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۲۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۸ ثانیه طول شرقی که از نظر خصوصیات توپوگرافی بسیار شبیه یکدیگر بودند، شناسایی و در توده معرف هر رویشگاه، نمونه‌برداری از خاک انجام گردید. اطلاعات توپوگرافی و اقلیمی این محدوده مطالعاتی در جدول (۱) و اطلاعات ترکیب پوشش گیاهی و ظواهر پوشش سطح خاک این سه رویشگاه در جدول (۳) آورده شده است.



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه در مراتع چهاردانگه استان مازندران

جدول (۱): مشخصات توپوگرافی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه چهاردانگه مازندران

ارتفاع متوسط از سطح دریا	شیب متوسط	متوسط دمای سالیانه	متوسط بارش سالیانه	اقلیم منطقه (دومارتن)
۱۶۰۰ متر	صفر تا ۱۰ درصد	۱۱ درجه سانتی‌گراد	۳۷۰ میلی‌متر	نیمه‌خشک سرد

۲-۲- روش نمونه‌برداری خاک و تحلیل آزمایشگاهی

با شناسایی سه رویشگاه مورد نظر در منطقه مورد مطالعه که از نظر ویژگی‌های توپوگرافی و اقلیمی مشابه یکدیگر بودند، در اواخر فصل بهار در اوج رویش گیاهان، در توده معرف هر رویشگاه به روش سیستماتیک- تصادفی سه ترانسکت صد متری با فاصله ۳۰۰ متر از یکدیگر و در طول هر ترانسکت در ابتدا و وسط و انتهای آن یک پلات یک مترمربعی مستقر شد و در هر پلات ضمن نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، اسامی گونه‌های گیاهی موجود و اطلاعات مربوط به درصد تاج‌پوشش، کلاس خوشخوراکی هر گونه و درصد هر یک از ظواهر پوشش خاک از قبیل درصد لاشبرگ، درصد سنگ و سنگریزه و درصد خاک لخت ثبت گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه خاک‌شناسی به مدت یک هفته در معرض هوا، خشک و سپس هر نمونه خاک با عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آماده شد. برای هر نمونه خاک، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه پارافینی و درصد کربن آلی به روش Walkley and Black (۱۹۳۴) و میزان ترسیب کربن با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد.

$$CS = 10000 * \%SOC * Bd * d$$

رابطه (۱)

%SOC: درصد کربن آلی خاک، Bd: جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، d: عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)، CS: میزان ترسیب کربن در خاک (کیلوگرم در هکتار)

۳-۲- محاسبات آماری

پس از وارد کردن داده‌های درصد تاج‌پوشش و کلاس خوشخوراکی گونه‌های گیاهی و درصد سنگ و سنگریزه و درصد خاک لخت هر یک از قطعات نمونه برداری (پلات) و همچنین درصد کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری هریک از نمونه‌های خاک پلات‌ها در نرم افزار اکسل

ضمن محاسبه درصد تاج پوشش کل و درصد ترکیب تاج پوشش هر یک از کلاس‌های خوشخوراکی (به کمک تابع درصدگیری) و میزان ترسیب کربن خاک هر یک از پلات‌ها (از روی فرمول‌نویسی رابطه (۱)) در محیط اکسل، با انتقال این داده‌ها به محیط نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ با اطمینان پیدا کردن از نرمال بودن داده‌ها (آزمون شاپیرو-ویلک) و همگنی واریانس‌ها (آزمون لون)، جهت مقایسه هر یک از متغیرهای درصد کربن آلی خاک، ترسیب کربن خاک، درصد تاج پوشش کل و درصد ترکیب تاج پوشش هر کلاس خوشخوراکی و درصد هر یک از ظواهر سطح خاک بین سه رویشگاه مرتعی مورد مطالعه از آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش تحلیل واریانس یک‌طرفه^۲ و آزمون معنی‌داری توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. در ادامه جهت تعیین وجود یا عدم وجود همبستگی و میزان و جهت همبستگی بین متغیرهای ترسیب کربن خاک و درصد تاج پوشش کل و درصد کربن آلی خاک از آزمون همبستگی پیرسون کمک گرفته شد که نتایج این آزمون‌ها در جدول‌های (۲) و (۳) و (۴) درج شده است.

جدول (۲): تجزیه واریانس یک طرفه ترسیب کربن خاک بین سه رویشگاه

پارامتر	درجه آزادی	مقدار F	معنی‌داری
ترسیب کربن (کیلوگرم در هکتار)	۲	۴۵/۵۶	<۰/۰۰۱***

*** نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

جدول (۳): مقایسه میانگین ترکیب پوشش گیاهی و ظواهر سطح خاک بین سه رویشگاه

پارامتر/رویشگاه	ترکیب تاج پوشش کلاس I	ترکیب تاج پوشش کلاس II	ترکیب تاج پوشش کلاس III	درصد خاک لخت	درصد سنگ و سنگریزه	درصد لاشبرگ	درصد تاج پوشش کل
<i>Festuca ovina</i>	۴۷/۳۶±۴/۵۱ ^a	۲۸/۲۸±۵/۸۹ ^a	۲۴/۳۴±۵/۹ ^b	۱۶/۱۱±۱/۶۲ ^b	۱۵±۱/۹۵ ^b	۰/۵۶±۰/۳۳ ^b	۶۸/۳۳±۳/۳ ^b
<i>Dactylis glomerata</i>	۵۹/۲۳±۴/۰۹ ^a	۱۷/۲۷±۲/۸۵ ^a	۳۳/۴۸±۲/۹۳ ^b	۴±۲/۲۸ ^c	۵/۷۸±۱/۲۸ ^c	۲/۳۳±۰/۴۴ ^{ab}	۸۷/۸۹±۳/۳۳ ^a
<i>Astragalus gossypinus</i>	۴/۷۳±۱/۸۷ ^b	۱۲/۵۴±۶/۱۴ ^a	۸۲/۷۱±۵/۳۱ ^a	۲۴/۱۱±۱/۳۲ ^a	۲۸/۱۱±۲/۵ ^a	۲/۶۷±۰/۷۸ ^a	۴۵/۱۱±۲/۵ ^c

حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین رویشگاه‌ها در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

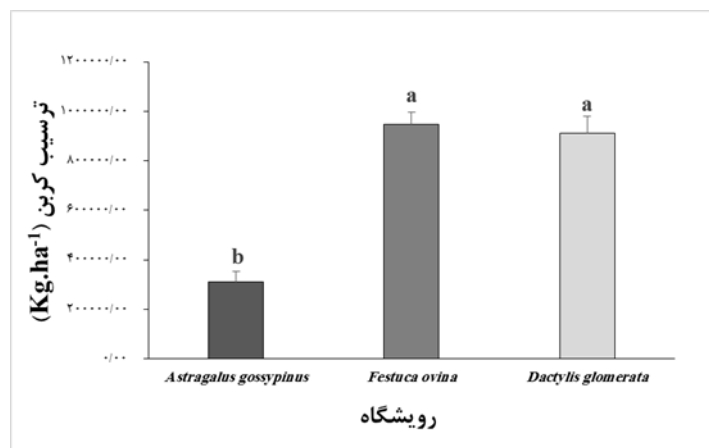
جدول (۴): تجزیه واریانس یک طرفه خصوصیات پوشش گیاهی و ظواهر سطح خاک بین سه رویشگاه

پارامتر	درجه آزادی	مقدار F	معنی‌داری
درصد تاج پوشش کل	۲	۴۸/۳۲**	<۰/۰۱
درصد لاشبرگ	۲	۴/۳**	<۰/۰۱
درصد سنگ و سنگریزه	۲	۳۲/۰۶**	<۰/۰۱
درصد خاک لخت	۲	۳۲/۰۱**	<۰/۰۱
ترکیب تاج پوشش کلاس I	۲	۶۰/۶**	<۰/۰۱
ترکیب تاج پوشش کلاس II	۲	۲/۴۳ ^{ns}	عدم معنی‌داری
ترکیب تاج پوشش کلاس III	۲	۴۸/۱۵**	<۰/۰۱

۳- نتایج و بحث

بر اساس اطلاعات جدول (۲) که مقایسه میانگین‌های ترسیب کربن خاک بین سه رویشگاه را نشان می‌دهد، بین سه رویشگاه از این نظر اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ وجود دارد. به‌طوریکه در شکل (۲) دیده می‌شود، بین دو علفزار *F. ovina* و *D. glomerata* اختلاف معنی‌داری از نظر میزان تثبیت ترسیب کربن در خاک وجود ندارد ولی بین این دو رویشگاه با بوته‌زار *A. gossypinus* تفاوت معنی‌دار است به‌طوری که کمترین میزان ترسیب کربن در خاک بوته‌زار *A. gossypinus* (۳۰۹۸۵۶ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین میزان آن در خاک علفزار *F. ovina* (۹۴۷۷۴۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده می‌شود.

اگرچه ارتباط بین نوع پوشش گیاهی و ذخیره‌سازی کربن در خاک، رابطه‌ای پیچیده و متأثر از برهم‌کنش مجموعه‌ای از عوامل گیاهی، خاکی، اقلیمی و مدیریتی است، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان ترسیب کربن در خاک رویشگاه‌های علفزار با غالبیت *D. glomerata* و *F. ovina* به‌طور معنی‌داری بیشتر از رویشگاه بوته‌زار با غالبیت *A. gossypinus* بود. یکی از مهم‌ترین شواهد در تبیین این تفاوت، وجود همبستگی بسیار قوی و مثبت بین ترسیب کربن خاک و درصد کربن آلی خاک ($r = ۰/۹۴۳$ جدول ۵) و همچنین همبستگی مثبت و قوی بین درصد کربن آلی خاک و درصد تاج‌پوشش کل ($r = ۰/۷۱۴$ جدول ۵) است. بنابراین، می‌توان استنباط کرد که پوشش تاجی گسترده‌تر در دو رویشگاه علفزار، از طریق افزایش ورودی‌های کربن آلی به خاک، شامل بقایای اندام‌های هوایی، در افزایش ذخیره کربن آلی خاک نقش داشته است، به‌طوری که پاره‌ای از تحقیقات نیز نشان داده‌اند میزان ترسیب کربن در خاک رویشگاه‌ها با توجه به درصد تاج‌پوشش گیاهی متفاوت بوده و بین درصد تاج‌پوشش با میزان ترسیب کربن در خاک، رابطه مثبت و معناداری وجود دارد که با نتایج تحقیقات رستم‌پور و همکاران (۱۴۰۳)، نظری و همکاران (۱۳۹۵)، Anderson and Coleman (۱۹۸۵)، Li et al. (۲۰۱۲)، da Silva et al. (۲۰۲۲) و Momesso et al. (۲۰۲۲) مطابقت دارد.



شکل (۲): مقایسه میانگین‌های ترسیب کربن خاک بین سه رویشگاه مرتعی در چهاردانگه ساری استان مازندران
حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

جدول (۵): ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای پوشش و خاک در سه رویشگاه

پارامتر	ترسیب کربن خاک	درصد تاج‌پوشش کل	درصد کربن آلی خاک
درصد تاج‌پوشش کل	۰/۶۵۶**		
درصد کربن آلی خاک	۰/۹۴۳**	۰/۷۱۴**	
وزن مخصوص ظاهری	-۰/۰۱۵ ^{NS}	-۰/۴۱۵*	-۰/۱۵۹ ^{NS}

** معنی‌داری همبستگی در سطح ۰/۰۱، * معنی‌داری همبستگی در سطح ۰/۰۵، NS عدم معنی‌داری همبستگی

این تفسیر با این دیدگاه که تولید و ورود مداوم مواد آلی گیاهی، یکی از پیش‌شرط‌های اساسی انباشت کربن آلی در خاک است، سازگار است. با این حال، افزایش کربن آلی خاک صرفاً تابع مقدار ماده گیاهی ورودی نیست، بلکه سرنوشت کربن پس از ورود به خاک نیز اهمیت اساسی دارد. بخشی از کربن گیاهی طی فرآیند تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها به CO₂ تبدیل می‌شود، در حالی که بخش دیگری پس از فراوری میکروبی می‌تواند در ماده آلی خاک وارد شده و در ارتباط با ذرات معدنی و ساختار خاک پایدار شود (Cotrufo et al., 2013; Kallenbach et al., 2016). از این‌رو، رابطه مثبت و قوی مشاهده شده بین درصد تاج‌پوشش کل و کربن آلی خاک را می‌توان حاصل برآیند هم‌زمان افزایش ورودی کربن به خاک و افزایش احتمال حفظ بخشی از این کربن در سامانه خاک دانست، نه صرفاً افزایش ساده مقدار بقایای گیاهی.

بنابراین، هم‌زمانی تاج‌پوشش بیشتر، کربن آلی بیشتر و ترسیب کربن بالاتر در دو علفزار مورد مطالعه، نشان می‌دهد که تفاوت ساختار و عملکرد پوشش گیاهی احتمالاً یکی از عوامل اصلی ایجاد تفاوت در چرخه کربن خاک بین رویشگاه‌ها بوده است. از طرف دیگر با توجه به نتایج مقایسه میانگین و تجزیه واریانس بین ظواهر پوشش سطح خاک بین این سه رویشگاه (جدول‌های ۳ و ۴)، اختلاف معنی‌دار سه پارامتر درصد سنگ و سنگریزه، درصد خاک لخت و درصد لاشبرگ، بین این سه رویشگاه وجود دارد که از این منظر، دو رویکرد دیگر در توجیه افزایش معنی‌دار ترسیب کربن خاک دو علفزار نسبت به بوته‌زار به‌دست آمد. اولاً افزایش معنی‌دار درصد خاک لخت و سنگ و سنگریزه در بوته‌زار *A. gossypinus* نسبت به دو علفزار، نشان‌دهنده کاهش پوشش محافظ سطح خاک و فراهم شدن شرایط مساعدتر برای فرسایش و جابه‌جایی ذرات خاک است. این وضعیت می‌تواند با افزایش از دست رفتن ذرات ریز و مواد آلی همراه آن‌ها، کاهش حفاظت فیزیکی کربن آلی خاک و افزایش قرارگیری مواد آلی در معرض فرآیندهای اکسیداسیون، به کاهش ذخیره کربن خاک در این رویشگاه منجر شده باشد. در مقابل، درصد تاج‌پوشش کل بیشتر در دو رویشگاه علفزار، ضمن افزایش ورودی کربن آلی به خاک، با ایجاد پوشش بیشتر در سطح خاک، نقش مؤثرتری در حفاظت از خاک و کاهش آسیب‌پذیری آن در برابر فرآیندهای فرسایشی داشته است. ثانیاً، درصد لاشبرگ سطحی در بوته‌زار *A. gossypinus* بیشتر از دو علفزار بود. این نتیجه در نگاه نخست ممکن است با ترسیب کربن کمتر در بوته‌زار ناسازگار به‌نظر برسد، اما در واقع نشان می‌دهد که درصد سطحی لاشبرگ به‌تنهایی شاخص مناسبی برای پیش‌بینی میزان کربن تثبیت‌شده در خاک نیست. انتقال کربن از لاشبرگ به ذخیره پایدار کربن خاک، به کیفیت شیمیایی لاشبرگ، سرعت تجزیه، فعالیت میکروبی، شرایط رطوبتی و دمایی و همچنین ظرفیت خاک برای حفاظت از ترکیبات آلی بستگی دارد. در چارچوب مفهومی MEMS، تبدیل بقایای گیاهی به کربن آلی پایدار خاک به‌شدت تحت تأثیر فراوری میکروبی و برهم‌کنش محصولات حاصل از تجزیه با ماتریس معدنی خاک قرار دارد (Cotrufo et al., 2013). بنابراین، انباشت بیشتر لاشبرگ در سطح خاک بوته‌زار الزاماً به معنای انتقال بیشتر کربن به مخزن کربن آلی خاک نیست. در صورتی که لاشبرگ گیاهان بوته‌ای دارای ترکیبات مقاوم‌تر به تجزیه، از جمله لیگنین و برخی ترکیبات ثانویه، یا نسبت C:N بالاتری باشد، سرعت تجزیه آن می‌تواند کاهش یابد و بخشی از بقایا برای مدت طولانی‌تری در سطح خاک باقی بماند. در چنین شرایطی، افزایش موجودی لاشبرگ سطحی ممکن است بیشتر نشان‌دهنده کاهش سرعت انتقال کربن از لایه لاشبرگ به خاک باشد تا افزایش ذخیره کربن در خود خاک. از سوی دیگر،

کربنی که در فرآیند تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف می‌شود، ممکن است بخشی به زی توده میکروبی و بقایای میکروبی تبدیل شود و بخشی نیز از طریق تنفس میکروبی به CO₂ بازگردد؛ بنابراین، مقدار کربن ورودی به خاک و مقدار کربن پایدارشده در خاک الزاماً برابر نیستند (Bontti et al., 2009; al., 2013; Cotrufo et al., 2016; Kallenbach et al.).

در این چارچوب، تفاوت بین دو علفزار و بوته‌زار را می‌توان با تفاوت در مسیر انتقال و تثبیت کربن نیز توضیح داد. علفزارها، به‌ویژه گونه‌های چندساله، دارای سیستم‌های ریشه‌ای متراکم و فیبروزی هستند که به‌طور مستمر رشد می‌کنند، می‌میرند و جایگزین می‌شوند. این چرخه مداوم، ورودی پیوسته‌ای از کربن را مستقیماً به خاک فراهم می‌کند و می‌تواند نقش مهمی در تشکیل و انباشت کربن آلی خاک داشته باشد (Jobbágy and Jackson, 2000; Chen et al., 2018; Bontti et al., 2009).

در مقابل، تفاوت در معماری، عمق و توزیع ریشه‌های گونه‌های بوته‌ای می‌تواند باعث شود مسیر ورود کربن به خاک و توزیع عمقی آن با علفزارها متفاوت باشد. بنابراین، حتی در شرایطی که مقدار لاشبرگ سطحی در بوته‌زار بیشتر است، ممکن است ورودی مؤثر کربن از مسیر ریشه‌ای و سرعت انتقال آن به مخزن کربن آلی خاک کمتر باشد. توزیع عمقی کربن نیز می‌تواند در تبیین این تفاوت اهمیت داشته باشد (Jobbágy and Jackson, 2000). در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که در علفزارها، درصد کربن آلی خاک در ۲۰ سانتی‌متر بالای خاک، نسبت به یک متر عمق کل، به‌طور میانگین ۴۲ درصد است، در حالی که این نسبت برای بوته‌زارها ۳۳ درصد می‌باشد که نشان داد نسبت قابل توجهی از کربن خاک در اکوسیستم‌های علفزار در لایه‌های سطحی خاک متمرکز است و الگوی توزیع کربن در علفزارها با بوته‌زارها متفاوت است. از آنجا که نمونه‌برداری پژوهش حاضر تا عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد، بخش مهمی از کربن ورودی از طریق ریشه‌های سطحی و نیمه‌سطحی علفزارها می‌توانسته در محدوده نمونه‌برداری قرار گرفته باشد. بنابراین، تفاوت در توزیع عمقی ریشه‌ها و کربن حاصل از آن‌ها می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر تفاوت مشاهده‌شده در ترسیب کربن بین رویشگاه‌ها باشد. افزون بر مقدار ورودی کربن به خاک، توانایی خاک برای حفاظت از کربن نیز اهمیت دارد. سیستم ریشه‌ای متراکم علفزارها می‌تواند با افزایش پیوند بین ذرات خاک و تقویت تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها، شرایطی را فراهم کند که بخشی از مواد آلی درون خاکدانه‌ها یا در ارتباط با ذرات معدنی از تجزیه سریع محافظت شود. در این شرایط، افزایش پایداری ساختاری خاک می‌تواند به کاهش جابه‌جایی ذرات ریز و مواد آلی همراه آن‌ها و افزایش ماندگاری کربن در خاک کمک کند. مطالعات جدید نیز وجود ارتباط بین پایداری خاکدانه‌ها و ذخیره کربن آلی را تأیید کرده‌اند، اگرچه شدت و جهت این ارتباط به ویژگی‌های خاک و شرایط محیطی وابسته است (Yue et al., 2026; Yang et al., 2024). بنابراین، تفاوت در ساختار ریشه‌ای و وضعیت حفاظتی سطح خاک بین علفزارها و بوته‌زار می‌تواند به‌صورت هم‌زمان بر ورود، انتقال و پایداری کربن اثر گذاشته باشد. در مطالعه حاضر، همبستگی بین ترسیب کربن خاک و وزن مخصوص ظاهری منفی اما بسیار ضعیف و غیرمعنی‌دار بود ($r = -0.15^{ns}$ جدول ۵). این نتیجه نشان می‌دهد که در دامنه تغییرات وزن مخصوص ظاهری مشاهده‌شده در رویشگاه‌های مورد مطالعه، این متغیر به‌تنهایی توان محدودی برای تبیین تغییرات ترسیب کربن داشته است. اگرچه افزایش کربن آلی خاک در بسیاری از شرایط می‌تواند با کاهش وزن مخصوص ظاهری همراه باشد، اما این رابطه الزاماً در همه مقیاس‌ها و همه اکوسیستم‌ها معنی‌دار نیست. وزن مخصوص ظاهری تحت تأثیر هم‌زمان بافت خاک، میزان سنگ و سنگریزه، تخلخل، فشردگی، مقدار ماده آلی و وضعیت رطوبتی قرار دارد؛ بنابراین، اثر افزایش کربن آلی ممکن است تحت تأثیر سایر عوامل پنهان شود. از این رو، نبود همبستگی معنی‌دار بین وزن مخصوص ظاهری و ترسیب کربن در پژوهش حاضر نباید به معنای بی‌اهمیت بودن کامل این ویژگی در چرخه کربن تفسیر شود، بلکه نشان می‌دهد اثر آن احتمالاً در تعامل با مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی ظاهر می‌شود. به‌ویژه، در مقایسه بین رویشگاه‌هایی با تفاوت در پوشش گیاهی، سنگریزه سطحی، خاک لخت، لاشبرگ، بافت خاک و ورودی‌های ریشه‌ای، انتظار می‌رود یک متغیر منفرد مانند وزن مخصوص ظاهری نتواند به‌تنهایی بخش عمده تغییرات ترسیب کربن را توضیح دهد. این تفسیر با مطالعاتی که رابطه ضعیف یا غیرمعنی‌دار بین وزن مخصوص ظاهری و ذخیره کربن خاک را در برخی اکوسیستم‌ها گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد (Kerr and Zavarzina et al., 2026; Zhang et al., 2020; Di et al., 2021; Ochsner, 2020).

بر اساس یک فراتحلیل جهانی از ۱۴۲ مطالعه، هجوم بوته‌ها به علفزارها اثر یکسانی بر کربن آلی خاک نداشت و تغییرات کربن آلی خاک در دامنه‌ای از کاهش ۵۰ درصدی تا افزایش ۳۰۰ درصدی مشاهده شد؛ بااین‌حال، میانگین اثر هجوم بوته‌ها بر کربن آلی خاک مثبت بود و شدت و جهت این اثر به شرایط محیطی وابسته بود (Li et al., 2016). بنابراین، کاهش ترسیب کربن در رویشگاه *A. gossypinus* در پژوهش حاضر را نمی‌توان صرفاً به «بوته‌ای بودن» پوشش نسبت داد. بااین‌حال، قرار گرفتن رویشگاه بوته‌زار در پایین‌ترین سطح کربن آلی خاک و ترسیب کربن، در مقایسه با دو رویشگاه علفزاری، نشان می‌دهد که در شرایط منطقه مورد مطالعه، غالبیت *A. gossypinus* احتمالاً با الگوی ورودی و تجزیه بقایای گیاهی متفاوتی نسبت به علفزارها همراه بوده است. این تفسیر با دیدگاه کلی Eldridge et al. (۲۰۱۱) درباره اثر عمیق گسترش بوته‌ها بر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها همخوانی دارد، هرچند جهت و شدت پاسخ کربن خاک ممکن است در اکوسیستم‌های مختلف متفاوت باشد.

یافته‌های پژوهش حاضر از نظر کاهش ذخیره کربن خاک در پوشش‌های غالب بوته‌ای، با نتایج Jackson et al. (۲۰۰۲) قابل مقایسه است. این پژوهشگران نشان دادند که در علفزارهای مناطق مرطوب‌تر، گسترش گیاهان چوبی موجب کاهش کربن آلی خاک شد؛ به‌گونه‌ای که افزایش کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده گیاهان چوبی نتوانست مقدار کربن ازدست‌رفته از خاک را جبران کند. به بیان دیگر، اگرچه با گسترش گیاهان چوبی بخشی

از کربن در زیست‌توده هوایی و زیرزمینی آنها ذخیره می‌شود، این افزایش الزاماً به معنای افزایش ذخیره کربن کل اکوسیستم نیست و ممکن است کاهش کربن خاک از آن بیشتر باشد. این یافته با نتایج پژوهش حاضر از این نظر هم‌راستا است که رویشگاه غالب *A. gossypinus*، در مقایسه با دو رویشگاه علفزاری غالب *F. ovina* و *D. glomerata*، کمترین مقدار کربن آلی خاک و ترسیب کربن را داشت. بنابراین، در شرایط پژوهش حاضر نیز غالبیت پوشش بوته‌ای با ذخیره کربن کمتر در خاک همراه بود.

Kieft et al. (۱۹۹۸) در بررسی پویایی زمانی منابع کربن و نیتروژن در مرز بین علفزار و بوته‌زار نشان دادند که اگرچه غلظت برخی منابع خاک در زیر تاج بوته‌ها بیشتر بود، مقدار منابع موجود در مقیاس کل رویشگاه در علفزار بیشتر از بوته‌زار بود؛ موضوعی که عمدتاً به تفاوت در میزان پوشش گیاهی نسبت داده شد. بر این اساس، پوشش گسترده‌تر گیاهان علفی در رویشگاه‌های *D. glomerata* و *F. ovina* می‌تواند سطح بیشتری از خاک را تحت تأثیر ورودی‌های آلی ناشی از تولید ریشه، مرگ‌ومیر ریشه‌ها و بقایای گیاهی قرار دهد و در نتیجه به افزایش تجمع کربن آلی و ترسیب کربن در مقیاس رویشگاه کمک کند. بنابراین، نتایج مطالعه Kieft et al. (۱۹۹۸) از این دیدگاه حمایت می‌کند که در مقایسه کربن خاک بین تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی، علاوه بر ویژگی‌های گونه غالب، میزان و گستره پوشش گیاهی در مقیاس کل رویشگاه نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

آذرمی‌آتاجان و رستم‌پور (۱۴۰۴) در بررسی ۱۸ رویشگاه مرتعی و بیابانی در استان خراسان جنوبی، تفاوت قابل‌توجهی در مقدار کربن آلی خاک بین رویشگاه‌های مختلف مشاهده کردند و بیشترین مقدار کربن آلی را در رویشگاه *Nitraria schoberi* گزارش نمودند. نویسندگان این الگو را به پوشش تاجی و زیست‌توده بیشتر و در نتیجه ریزش لاشبرگ بیشتر در برخی گونه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای نسبت دادند. باین‌حال، تفاوت نتایج مطالعه مذکور با پژوهش حاضر نشان می‌دهد که افزایش ذخیره و ترسیب کربن را نمی‌توان به‌طور کلی به یک فرم رویشی خاص نسبت داد؛ زیرا در پژوهش حاضر، رویشگاه‌های گرمینه *D. glomerata* و *F. ovina*، باوجود لاشبرگ کمتر نسبت به رویشگاه *A. gossypinus*، ذخیره و ترسیب کربن بیشتری داشتند. بنابراین، به‌نظر می‌رسد اثر نوع پوشش گیاهی بر ذخیره و ترسیب کربن خاک حاصل برهم‌کنش ویژگی‌های گونه غالب، میزان و گستره پوشش گیاهی و کیفیت ورودی‌های آلی به خاک است و نمی‌توان صرفاً بر اساس علفی یا بوته‌ای بودن پوشش گیاهی، الگوی ذخیره و ترسیب کربن را پیش‌بینی کرد.

باین‌حال، نتایج پژوهش حاضر با برخی مطالعاتی که افزایش کربن خاک را در لکه‌های تحت تأثیر بوته‌ها گزارش کرده‌اند، متفاوت است. برای مثال، Yu et al. (۲۰۲۲) در بررسی سه نوع علفزار دارای گسترش بوته‌ای در منطقه آبی نیمه‌مرطوب فلات تبت نشان دادند که پیامد گسترش بوته‌ها بر ویژگی‌های جامعه گیاهی و مواد غذایی خاک در همه شرایط یکسان نبود و به گونه بوته‌ای غالب وابسته بود. در یکی از جوامع مورد بررسی، مقدار کربن آلی خاک در لکه‌های تحت تأثیر بوته‌ها ۸۳/۹۱ درصد بیشتر از لکه‌های علفزاری بود، درحالی‌که پاسخ ویژگی‌های خاک در سایر جوامع بوته‌ای متفاوت بود. بنابراین، برخلاف پژوهش حاضر که در آن رویشگاه غالب *A. gossypinus* کمترین مقدار کربن آلی و ترسیب کربن را در مقایسه با دو رویشگاه علفزاری غالب *F. ovina* و *D. glomerata* داشت، نتایج Yu et al. (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که گسترش بوته‌ها در برخی شرایط می‌تواند با افزایش کربن آلی خاک همراه باشد. این تفاوت بیانگر آن است که نمی‌توان اثر گسترش یا غالبیت بوته‌ها بر ترسیب کربن خاک را به‌صورت یکسان در همه اکوسیستم‌ها تعمیم داد؛ بلکه پاسخ کربن خاک به گونه بوته‌ای، شرایط اقلیمی و خاکی و ویژگی‌های متفاوت ورودی‌های گیاهی وابسته است. ازاین‌رو، مقدار کمتر ترسیب کربن در رویشگاه *A. gossypinus* در پژوهش حاضر را نمی‌توان صرفاً به بوته‌ای بودن پوشش نسبت داد و احتمالاً ویژگی‌های اختصاصی این گونه و شرایط محیطی رویشگاه نیز در شکل‌گیری این الگو نقش داشته‌اند.

اهمیت کیفیت بقایای گیاهی در تفسیر نتایج پژوهش حاضر از مقایسه با یافته‌های Xu et al. (۲۰۲۵) نیز آشکار می‌شود. این پژوهشگران نشان دادند که حتی افزایش هم‌زمان ورود کربن از لاشبرگ‌های هوایی و زیرزمینی در اثر گسترش یک گونه علفی نیز الزاماً به افزایش نهایی کربن آلی خاک منجر نمی‌شود؛ زیرا کاهش نسبت C/N و ترکیبات مقاوم‌تر مانند لیگنین می‌تواند تجزیه و معدنی‌شدن را افزایش داده و در نهایت موجب کاهش غلظت کربن آلی خاک شود. بنابراین، در پژوهش حاضر نیز بیشتر بودن مقدار لاشبرگ در رویشگاه *A. gossypinus* نسبت به دو رویشگاه علفزاری، به‌تنهایی نمی‌تواند کاهش ترسیب کربن در این رویشگاه را رد کند. به بیان دیگر، مقدار لاشبرگ تنها یکی از مؤلفه‌های ورود کربن به خاک است و سرنوشت نهایی این کربن به کیفیت شیمیایی بقایا، سرعت تجزیه، فعالیت میکروبی و میزان تثبیت کربن در بخش‌های پایدار خاک نیز وابسته است. بنابراین، مهم‌ترین برداشت از مقایسه این مطالعات آن است که «هجوم بوته‌ها» یک فرآیند با پیامد ثابت و یکسان برای ترسیب کربن نیست؛ بلکه اثر آن تابع برهم‌کنش میان گونه غالب، شرایط محیطی، مقدار و کیفیت ورودی‌های گیاهی و فرآیندهای تجزیه و تثبیت کربن در خاک است. در شرایط پژوهش حاضر، پایین‌تر بودن هم‌زمان کربن آلی و ترسیب کربن در رویشگاه *A. gossypinus* در مقایسه با دو علفزار، نشان می‌دهد که تغییر ترکیب پوشش گیاهی به سمت غالبیت بوته‌ای در این منطقه با کاهش ذخیره کربن خاک همراه بوده است؛ هرچند برای اثبات مستقیم سازوکارهای مسئول این الگو، اندازه‌گیری ویژگی‌هایی مانند زیست‌توده ریشه، ترکیب شیمیایی لاشبرگ، نسبت C/N و لیگنین، سرعت تجزیه و بخش‌های پایدار کربن خاک ضروری است.

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که برتری دو رویشگاه علفزار *D. glomerata* و *F. ovina* از نظر ترسیب کربن خاک نسبت به بوته‌زار *A. gossypinus* حاصل اثر یک عامل منفرد نیست، بلکه از برهم‌کنش چند فرآیند ناشی می‌شود. تاج‌پوشش بیشتر، ورودی بالاتر مواد آلی و

کربن از اندام‌های هوایی و زیرزمینی، چرخه فعال ریشه، تفاوت در کیفیت و سرعت تجزیه لاشبرگ و احتمالاً حفاظت بهتر بخشی از کربن در ساختار خاک، مجموعه عواملی هستند که می‌توانند در افزایش ذخیره کربن خاک علفزارها نقش داشته باشند. در مقابل، افزایش درصد لاشبرگ سطحی در بوته‌زار، در صورت برخورداری از سرعت تجزیه پایین‌تر، پوشش زنده کمتر و حفاظت ضعیف‌تر سطح خاک، الزاماً به افزایش ذخیره کربن آلی خاک منجر نمی‌شود. بنابراین، نتایج این پژوهش بر اهمیت توجه هم‌زمان به کمیت و کیفیت ورودی‌های گیاهی، مسیرهای ریشه‌ای و میکروبی تبدیل کربن و ظرفیت خاک برای حفاظت از کربن تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن مراتع صرفاً بر اساس مقدار لاشبرگ یا یک ویژگی منفرد خاک، می‌تواند به برداشت ناقص از چرخه کربن منجر شود.

۴- توصیه مدیریتی

با توجه به توان و ظرفیت ترسیب کربن بالای علفزارهای مورد مطالعه که غالبیت پوشش آنها با گونه‌های *D. glomerata* و *F. ovina* بود می‌توان از کاشت این دو گونه در رویشگاه‌های این منطقه و مناطق اکولوژیکی مشابه جهت استفاده از توان ترسیمی این دو گونه در جهت افزایش کربن آلی خاک بهره جست و از طرف دیگر با توجه به افزایش نسبی درصد ترکیب تاج پوشش گیاهان کلاس III خوشخوراکی (جدول ۳ و ۴) و درصد خاک لخت و سنگ و سنگریزه و کاهش میزان ترسیب کربن در خاک با گذار از علفزارها به بوته‌زار مورد مطالعه (جدول ۳)، که بر اساس تحقیقات سعادت و دیانتی تیلکی (۱۳۹۹) نیز که وضعیت بوته‌زارهای این منطقه را فقیر با گرایش منفی گزارش کرده‌اند اجرای قرق موقت در مناطق تخریب‌شده به‌منظور احیای پوشش گیاهی و افزایش تولید زیست‌توده، همراه با استقرار چرای تناوبی و تنظیم ظرفیت چرا پس از دوره احیا، می‌تواند به افزایش ذخیره کربن آلی خاک و بهبود عملکرد اکوسیستم مرتعی کمک شود (Whitehead, 2020; Abdalla et al., 2018; Conant et al., 2017).

سپاس‌گزاری

بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس و پرسنل محترم آزمایشگاه خاک‌شناسی این دانشکده که در تأمین اعتبار و امکانات انجام آزمایش‌های خاک در این پژوهش، مساعدت فرمودند، ابراز می‌داریم.

منابع

- آذری آتاجان، ف. و رستم‌پور، م. (۱۴۰۴). مقایسه کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) خاک رویشگاه‌های مرتعی و بیابانی استان خراسان جنوبی. روابط خاک و گیاه، ۲۱-۲۸، ۱۶(۲).
- حسن‌نژاد، م.، تمرتاش، ر. و طایان، م. (۱۳۹۳). مقایسه میزان ترسیب کربن در گونه‌گون پنبه‌ای (*Astragalus gossypinus*) و علف باغ (*Dactylis glomerata*) در مناطق کوهستانی هزارجریب بهشهر. محیط‌شناسی، ۲۹-۳۸، ۴۰(۱).
- رستم‌پور، م.، یاری، ر. و میرمیران، م. (۱۴۰۳). میزان ترسیب کربن خاک چند گونه گیاهی در مناطق بیابانی خراسان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۳۱(۴)، ۳۳۴-۳۳۴.
- رمضانی، س. و قاسمی آقباش، ف. (۱۴۰۳). ارزیابی رویکرد فضا برای زمان برای بررسی اثرهای افزایش درجه حرارت بر تجزیه لاشبرگ‌ها. پژوهش و توسعه جنگل، ۱۰(۱)، ۱۴۹-۱۶۵.
- زاهدی امیری، ق. و، و زرغام، ن. (۱۳۹۷). ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۵۲۴ص.
- سعادت، ن. و دیانتی تیلکی، ق. (۱۳۹۹). بررسی نسبت لگوم به گراس و برخی مشخصه‌های خاک در چهار تیپ گیاهی (مطالعه موردی: مراتع پشتکوه کیاسر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- صابری، م.، کریمیان، و. و، و شهریاری، ع. (۱۴۰۵). ارزیابی تنوع فلورستیک و ذخیره‌سازی کربن در خاک و زی‌توده گونه‌های غالب مرتعی و نقش آن‌ها در پایداری اکولوژیکی. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۶(۱)، ۲۹-۴۶.
- صادقی، م.، محمد اسمعیلی، م.، طهماسبی، ا. و صادقی، م. (۱۴۰۴). بررسی تخصیص عناصر در اندام هوایی، لاشبرگ و ریشه برخی از گونه‌های گرامینه. حفاظت زیست بوم گیاهان، ۱۳(۲)، ۱۷۴-۱۸۴.
- عرفانزاده، ر. و معتمدی، ج. (۱۳۹۲). اثر شیب و نوع پوشش گیاهی بر میزان ترسیب کربن خاک در مراتع خشک و نیمه خشک شمال غرب ایران (مطالعه موردی: مراتع خانقاه سرخ ارومیه). آب و خاک، ۲۷(۴)، ۷۰۳-۷۱۱.
- قاسمی آقباش، ف. و، و بیرانوند، م. (۱۴۰۰). اثر کیفیت لاشریزه و شاخص مزیت تجزیه خانگی آن بر فرایند تجزیه لاشبرگ‌های عرعر و کاج سیاه. جنگل ایران، ۱۳(۳)، ۳۱۹-۳۳۲.
- قربانی، ا.، معمری، م.، عباسی خالکی، م.، لازمی زارع، س.، بقایی، م.، هاشمی مجد، ک.، بدرزاده، م. و بهرامی، ب. (۱۴۰۳). تعیین تغییرات ترسیب کربن و برخی خصوصیات خاک در گرادیان ارتفاعی مراتع شمال سیلان. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۱)، ۱۳۵-۱۵۰.
- مراذزاده، و.، قربانی، ا.، شام‌اسبی، ل.، معمری، م.، حزباوی، ز.، تیمورزاده، ع. و، و بهتری، ب. (۱۴۰۴). شناسایی الگوهای ترسیب کربن تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف اقلیمی، خاکی و پستی و بلندی در مراتع شمال سیلان. مرتع و آبخیزداری، ۷۸(۴)، ۴۹۱-۵۱۲.
- مهدوی، س. خ.، سوری، م. و، و چوپانیان، ا. (۱۳۹۴). اثرات عوامل فیزیوگرافی بر توان ترسیب کربن خاک در تیپ‌های گیاهی *Astragalus* و *Astragalus gossypinus* (مطالعه موردی: مراتع کوهستانی استان کرمانشاه). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۲(۲)، ۲۸۹-۲۹۷.
- نظری، ن.، عبدی، ن. و، و روانی، ج. (۱۳۹۵). مقایسه پارامترهای درصد کربن آلی خاک، مقدار کربن آلی خاک و کل ترسیب کربن خاک در تیپ‌های گیاهی حوزه آبخیز ظهرآباد. پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تیر ۱۳۹۵.
- یوسفی، ز.، جعفریان، ز.، حجتی، م. و، و طیبی، م. (۱۳۹۴). روند تجزیه لاشبرگ در گونه جاشیر (*Prangos ferulaceae*) با استفاده از تکنیک کیسه لاشبرگ در ایستگاه حسین آباد استان فارس. حفاظت زیست بوم گیاهان، ۳(۷)، ۱۲۹-۱۴۴.

- Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D.R., Jones, D.L., Evans, C.D., Jones, M.B., Rees, B., and Smith, P. (2018). Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 62-81.
- Anderson, D.W., and Coleman, D.C. (1985). The dynamics of organic matter in grassland soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40(2), 211-216.
- Bontti, E.E., Decant, J.P., Munson, S.M., Gathany, M.A., Przeszlowska, A., Haddix, M. L., ... and Harmon, M.E. (2009). Litter decomposition in grasslands of central North America (US Great Plains). *Global Change Biology*, 15(5), 1356-1363.
- Chen, S., Wang, W., Xu, W., Wang, Y., Wan, H., Chen, D., ... and Bai, Y. (2018). Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(16), 4027-4032.
- Conant, R.T., Paustian, K., and Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11(2), 343-355.
- Conant, R.T., Cerri, C.E., Osborne, B.B., and Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662-668.
- Cotrufo, M.F., Wallenstein, M.D., Boot, C.M., Denef, K., and Paul, E. (2013). The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, 19(4), 988-995.
- da Silva, L.S., Sollenberger, L.E., Kimberly Mullenix, M., Kohmann, M.M., Dubeux Jr, J.C., and Silveira, M.L. (2022). Soil carbon and nitrogen stocks in nitrogen-fertilized grass and legume-grass forage systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 122(1), 105-117.
- Denboba, M.A. (2022). Grazing management and carbon sequestration in the Dry Lowland Rangelands of Southern Ethiopia. *Sustainable Environment*, 8(1), 1-24.
- Derner, J.D., and Schuman, G.E. (2007). Carbon sequestration and rangelands: a synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water conservation*, 62(2), 77-85.
- Di, X.S., Wu, H.Q., Jia, H.T., Zhang, W.T., Gu, H.B., Shao, M.X., and Sheng, J.D. (2021). Construction of relationship model between soil bulk density and soil organic carbon content of main grasslands in Xinjiang. *Chinese Journal of Soil Science*, 52(6), 1323-1329.
- Eldridge, D., Bowker, M., Maestre, F., Roger, E., Reynolds, J., and Whitford, W. (2011). Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning: towards a global synthesis. *Ecology Letters*, 14(7), 709-722.
- Fox, J. F., Campbell, J. E., and Acton, P.M. (2020). Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites. *Energies*, 13(23), 6340.
- He, N., Zhang, Y., Dai, J., Han, X., Baoyin, T., and Yu, G. (2012). Land-use impact on soil carbon and nitrogen sequestration in typical steppe ecosystems, Inner Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 22(5), 859-873.
- Jackson, R.B., Banner, J.L., Jobbágy, E.G., Pockman, W., and Wall, D.H. (2002). Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature*, 418(6898), 623-626.
- Jobbágy, E.G., and Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2), 423-436.
- Kallenbach, C.M., Frey, S.D., and Grandy, A.S. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nature Communications*, 7(1), 13630.
- Kerr, D.D., and Ochsner, T.E. (2020). Soil organic carbon more strongly related to soil moisture than soil temperature in temperate grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 587-596.
- Kieft, T.L., White, C., Loftin, S.R., Aguilar, R., Craig, J.A., and Skaar, D.A. (1998). Temporal dynamics in soil carbon and nitrogen resources at a grassland-shrubland ecotone. *Ecology*, 79(2), 671-683.
- Kooch, Y., and Noghre, N. (2020). Nutrient cycling and soil-related processes under different land covers of semi-arid rangeland ecosystems in northern Iran. *Catena*, 193, 104621.
- Li, H., Shen, H., and Chen, L. (2016). Effects of shrub encroachment on soil organic carbon in global grasslands. *Scientific Reports*, 6(1), 28974.
- Li, W., Yan, M., Qingfeng, Z. and Zhikaun, J. (2012). Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern Loess Plateau of China. *CLEAN- Soil, Air, Water*, 40(1), 7-15.
- MacDougall, A.S., Vanzant, B., Sulik, J., Bagchi, S., Naidu, D., Muraina, T.O., ... and Siewert, M.B. (2026). The global extent of the grassland biome and implications for the terrestrial carbon sink. *Nature Ecology & Evolution*, 10(2), 246-257.
- Mahdavi, M., Arzani, H., Mesdaghi, M., Mahdavi, K.H., Mahmodi, J., and Alizadeh, M. (2011). Estimation of soil carbon sequestration rate in steppes (case study: Saveh Rudshur steppes). *Journal of Rangeland Science*, 1(3), 175-182.
- Momesso, L., Crucioli, C.A.C., Leite, M.F., Bossolani, J.W., and Kuramae, E.E. (2022). Forage grasses steer soil nitrogen processes, microbial populations, and microbiome composition in a long-term tropical agriculture system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107688.
- Niknahad Gharmakher, H., Jafari Foutami, I., and Sharifi, A. (2015). Effects of grazing exclusion on plant productivity and carbon sequestration (case study: Gomishan Rangelands, Golestan Province, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 5(2), 122-133.
- Petrie, M.D., Collins, S.L., Gutzler, D.S., and Moore, D.I. (2015). Grassland to shrubland state transitions enhance carbon sequestration in the northern Chihuahuan Desert. *Global Change Biology*, 21(3), 1226-1235.
- Tang, X., Zhao, X., Bai, Y., Tang, Z., Wang, W., Zhao, Y., and Fang, J. (2018). Carbon pools in China's terrestrial ecosystems: New estimates based on an intensive field survey. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(16), 4021-4026.
- Tessema, B., Sommer, R., Piikki, K., and Söderström, M. (2020). Potential for soil organic carbon sequestration in grasslands in East African countries: A review. *Grassland Science*, 66(3), 135-144.
- Walkley, A., and Black, I.A. (1934). An examination of the DEGTJAREFF method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Ward, S.E., Smart, S.M., Quirk, H., Tallwin, J.R.B., Mortimer, S.R., Shiel, R.S., Wilby, A., and Bardgett, R.D. (2016). Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. *Global Change Biology*, 22(8), 2929-2938.

- Wei, S., Fan, C., Zuo, J., Rui, L., Li, J., Tang, W., and Guan, P. (2026). The effect of litter addition on soil organic carbon fractions with intensified grassland degradation. *Agronomy*, 16(8), 835.
- Whitehead, D., Schipper, L.A., Pronger, J., Moinet, G.Y.K., McNally, S.R., Beare, M.H., Camps-Arbestain, M., and Kirschbaum, M.U.F. (2020). Management of grazed landscapes to increase soil carbon stocks in temperate, dryland grasslands. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 585913.
- Xu, X., Jin, Y., Xu, J., Zhang, Y., and Yang, J. (2025). Effects of Herbaceous Plant Encroachment on the Soil Carbon Pool in the Shrub Tundra of the Changbai Mountains. *Forests*, 16(2), 197.
- Yang, H., Luo, W., Peng, X., Zhang, X., Chen, Y., and Li, Y. (2024). Vegetation restoration improved aggregation stability and aggregated-associated carbon preservation in the karst areas of Guizhou Province, southwest China. *PeerJ*, 12, e16699.
- Yu, S., Liu, X., Chen, X., Sun, M., Cao, Y., Hu, J., Yang, L. and Hu, J. (2022) Effects of shrub encroachment on grassland community and soil nutrients among three typical shrubby grasslands in the alpine subhumid region of the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 1068200.
- Yue, Y., Lai, L., Zhou, J., Wang, G., Yang, G., and Zheng, Y. (2026). Microbial-derived carbon dominates shrub encroachment carbon loss in Inner Mongolia grasslands. *Journal of Environmental Management*, 401, 128805.
- Zavarzina, A., Kulikova, N., Belov, A., Demin, V., Rozanova, M., Pogozhev, P., and Danilin, I. (2026). Soil carbon storage in forest and grassland ecosystems along the soil-geographic transect of the East European Plain: Relation to soil biological and physico-chemical properties. *Forests*, 17(1), 69.
- Zhang, Y., Xie, Y., Ma, H., Jing, L., Matthew, C., and Li, J. (2020). Rebuilding soil organic C stocks in degraded grassland by grazing exclusion: A linked decline in soil inorganic C. *PeerJ*, 8, e8986.

Comparison of Soil Carbon Sequestration Among Three Rangeland Communities Dominated by *Astragalus gossypinus*, *Festuca ovina*, and *Dactylis glomerata* in the Poshtkuh Rangelands of Sari, Mazandaran Province, Northern Iran

Fariborz Farhadpour^{1*}, Ghasemali Dianati Tilaki², Mehdi Abedi³



Research Article

1. M.Sc. Graduate in Rangeland Management Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

f.farhadpour@modares.ac.ir

* Corresponding author

2. Associate Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

dianatig@modares.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

mehdi.abedi@modares.ac.ir

Article Code: 2607-1185

Continous Pagination: 1363-1374

Received: 08 July 2026

Accepted: 02 August 2026

Online: 14 August 2026

Review speed: 26 days

Citation:

Farhadpour, F., Dianati Tilaki, GH., and Abedi, M. (2026). Comparison of Soil Carbon Sequestration Among Three Rangeland Communities Dominated by *Astragalus gossypinus*, *Festuca ovina*, and *Dactylis glomerata* in the Poshtkuh Rangelands of Sari, Mazandaran Province, Northern Iran. Management of Natural Ecosystems, 6(2), 37-48.

Abstract

Soil carbon sequestration is one of the most important indicators of rangeland ecosystem health and plays a significant role in reducing atmospheric carbon dioxide concentrations. This study was conducted to compare the amount of soil carbon sequestration among three rangeland sites, including two grasslands dominated by *Festuca ovina* and *Dactylis glomerata* and one shrubland dominated by *Astragalus gossypinus*, in the Poshtkuh rangelands of Chahardangeh District, Mazandaran Province, and to examine its correlation with total canopy cover percentage soil organic carbon. Soil sampling was conducted using a systematic-random method, and with 27 soil samples collected to a depth of 30 cm (nine samples per site) and the Data were analyzed using one-way ANOVA, Tukey's test, and Pearson correlation coefficient. Soil carbon sequestration in the *F. ovina* and *D. glomerata* sites was 947,748 and 856,108 kg ha⁻¹, respectively, which were significantly higher than in the *A. gossypinus* site (309,856 kg ha⁻¹; $P < 0.05$). The percentage of Soil organic carbon in the two grasslands (2.00 and 2.01%) was also significantly higher than in the shrubland (0.64%). The percentages of Total canopy cover in the *D. glomerata*, *F. ovina*, and *A. gossypinus* sites were 87.89%, 68.33%, and 45.11%, respectively, and the litter cover percentages were 2.33%, 0.56%, and 2.67%, respectively. A strong positive correlation was observed between soil carbon sequestration and soil organic carbon ($r = 0.941$), and as well as between soil organic carbon and total canopy cover ($r = 0.714$). Despite its greater litter cover percentage, the shrubland had the lowest soil carbon sequestration and soil organic carbon percentage, indicating that soil carbon sequestration in the rangeland sites depends not only on litter quantity but also on litter quality, the root-system characteristics of the dominant species, and soil physical and biological properties. Overall, in the study area, grassland sites dominated by *D. glomerata* and *F. ovina* had a greater capacity for storing and sequestering soil carbon than *A. gossypinus* shrublands, due to their higher total canopy cover percentage, higher input of organic matter and carbon from aerial and terrestrial organs, active root cycles, and possibly differences in the litter quality and decomposition rates and better preservation of some of the organic carbon in the soil structure and They could play a more effective role in improving soil quality and the sustainability of rangeland ecosystems.

Key Words:

Grassland, Litter, Shrubland, Soil organic carbon, Total canopy cover, Rangeland.